Aus dem Zahnärztlichen Institut
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. E. Fröhlich

MIKROHÄRTEMESSUNGEN IM GESUNDEN UND KARIÖS VERÄNDERTEN DENTIN MENSCHLICHER ZÄHNE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen
Fakultät der
Eberhard - Karls - Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Günther Stoll
aus Dessau
1964

7821

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547602_0077

Aus dem Zahnärztlichen Institut
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. E. Fröhlich

MIKROHÄRTEMESSUNGEN IM GESUNDEN UND KARIÖS VERÄNDERTEN DENTIN MENSCHLICHER ZÄHNE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen
Fakultät der
Eberhard - Karls - Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Günther Stoll
aus Dessau
1964

Dekan	**Prof. Dr. H. Harms**
Referent	Prof. Dr. A. Kröncke
Correferent	Prof. Dr. Dr. E. Fröhlich

MEINER FRAU

und

MEINEN GROSSELTERN

INHALTSÜBERSICHT

I. Einleitung und Problemstellung 7

II. Literaturübersicht 11

III. Versuchsmaterial und Methodik 18

A. Material 18

1. Schleifen der Proben 18

B. Härtemessungen 19

1. Prinzip der Methode 19

2. Einbetten der Schliffe 20

3. Vorversuche 21

4. Ausführung der Prüfung 21

C. Statistische Fehlerberechnung 23

IV. Ergebnisse 25

V. Diskussion der Ergebnisse 39

VI. Zusammenfassung 45

VII. Schrifttum 49

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Im Rahmen einer Untersuchungsreihe über die Hartsubstanzen menschlicher Zähne und ihre Bedeutung in der konservierenden Zahnheilkunde soll sich die vorliegende Arbeit mit der Härte des Dentins befassen.

Die Frage nach der Härte menschlicher Zahnhartsubstanzen ist insofern von wissenschaftlicher und praktischer Bedeutung, als sie uns Aufschlüsse über Mineralisationszustand und Struktureigenheiten der Zähne geben kann. Zwischen diesen Faktoren einerseits und der Kariesgenese andererseits besteht ein klarer Zusammenhang. Man sieht dies deutlich am Beispiel der sogenannten "unterminierenden Karies", die jedem aus der täglichen Praxis genügend bekannt ist. Der kariöse Prozeß schreitet im weicheren Dentin wesentlich schneller fort als im Schmelz. Hierbei kommt der Schmelz-Dentingrenze eine besondere Bedeutung zu, worauf im Rahmen der vorliegenden Arbeit gesondert eingegangen wird.

In der Struktur des Schmelzes ist ein konditionaler Faktor für die Kariesentstehung zu erkennen. Man findet bei den Kulturvölkern kaum Zähne ohne jeden Strukturfehler. Die mitunter mangelhafte Mineralisation der Schmelzprismen in ihren verschiedenen Erscheinungsformen bildet besonders an habituell unsauberen Bereichen eine Ursache für das schnelle Fortschreiten der Karies. Ähnliche Mängel in der Mineralisation weist das Interglobulardentin auf, wodurch der Prozeß weiter

begünstigt wird (WALKHOFF-HESS (13)). Hieraus ergab sich die Aufgabe, durch Härtemessungen im Dentin Näheres über dessen Struktur und Mineralisationszustand zu beobachten.

Seit langem ist bekannt, daß der kariöse Prozeß vom mikrobiologischen wie auch vom histopathologischen Standpunkt aus betrachtet keineswegs einheitlich ist. GYSI hat die Karies in verschiedene Zonen eingeteilt. In der nach GIYSI als "Zone der vitalen Reaktion" bezeichneten Schicht kommt es zur Ausfällung von Kalksalzen in die Dentinkanälchen (WALKHOFF-HESS (13)). Durch Untersuchungen im kariösen Bereich wäre somit zu klären, ob diese Veränderungen auch einen Ausdruck in Härteunterschieden finden.

Bei der systematischen Durchsicht der Fachliteratur stellten wir fest, daß die Härteschwankungen des Dentins relativ wenig untersucht worden sind. Die früheren Untersuchungen beschäftigten sich meist mit der Methodik der verschiedenen Härteprüfverfahren. Die Dentinhärte war oft nur ein Nebenbefund. Die Zahl der Einzelmessungen war zu gering und statistisch nicht abzusichern. Vor allem aber differierten die Ergebnisse stark, worauf in der Diskussion unserer Ergebnisse im Einzelnen eingegangen werden soll.

Ein kurzer Überblick über die seither erzielten Ergebnisse soll die Notwendigkeit ausführlicher Prüfung der oben angeschnittenen Fragen aufzeigen. HOOGE (4) stellte annäherungsweise Vergleiche - Schmelz mit Stahl und Dentin mit Messing - an. RICHTER (11) fand, daß die Dentinhärte stufenweise absinke. BORN (2) gibt an, daß

bei Parodontosefällen und zunehmendem Alter Härtezunahmen zu verzeichnen sind. DANIELSSON (3) macht präzise Zahlenangaben über die Dentinhärte eines gesunden Zahnes in Brinelleinheiten. KRELL (7) prüft 3 Zähne nach dem Vickersverfahren. BLUME (1) fand, daß Wurzeldentin weicher sei als Kronendentin. KIMMERLE (5) bringt den ersten Durchschnittswert für die Dentinhärte in Vickerseinheiten.

Problemstellung:

Auf Grund obiger Ausführungen ergibt sich die Notwendigkeit einer näheren Überprüfung der gemachten Aussagen über die Dentinhärte. Hierbei ist an erster Stelle ein Durchschnittswert für die Dentinhärte zu finden, der aus Grund einer genügenden Anzahl von Einzelmessungen statistisch vertretbar ist. Des weiteren wäre die Frage zu untersuchen, ob sich die Dentinhärte - jeweils im gesunden Bereich gemessen - an Zähnen, die wegen Caries profunda und ihren Folgen extrahiert wurden, signifikant von der unterscheidet, wo die Zähne wegen parodontaler Erkrankungen zu Verlust gingen. Ein weiterer Punkt unserer Untersuchungen wird sich mit der Härte des Dentins an den Kariesprädilektionsstellen befassen: Dentin unmittelbar unter der Kaufläche (Fissuren und Grübchen), am Zahnhals und im Approximalraum. Sinn dieser Frage ist festzustellen, ob das rasche Fortschreiten der Karies an diesen Stellen lediglich auf die gute Retentionsmöglichkeit von Plaques zurückzuführen ist, oder ob strukturelle und mineralisationsbedingte Gesichtspunkte hinzukommen. Eine weitere Meßreihe soll sich mit dem Härteverlauf an der Grenze vom gesunden

zum kariösen Dentin auseinandersetzen. Hierbei soll festgestellt werden, ob die klinisch und histologisch bekannten Zonen der vitalen Reaktionen härtemäßig einen Ausdruck finden. Die letzte Meßreihe schließlich wird den gesamten Härteverlauf von dem unmittelbar pulpennahen Dentin bis zur Schmelz-Dentingrenze untersuchen. Hierbei wird noch einmal gesondert auf diese Grenzzone eingegangen.

Zur experimentellen Überprüfung dieser Fragestellungen werden Mikrohärtemessungen durchgeführt.

II. LITERATURÜBERSICHT

In chronologischem Aufbau sollen hier die bisher angewandten Härtemeßverfahren und die damit erzielten Ergebnisse, soweit sie unser Problem berühren, zusammenfassend dargestellt werden. Die älteste von uns gefundene Arbeit, die sich mit Härtemessungen an menschlichen Zähnen befaßte, datiert aus dem Jahre 1913 (PICKERILL (10). Der Autor bediente sich des in der Geologie bekannten Ritzverfahrens. Im Jahre 1931 wurde dieses Verfahren zur Härtemessung an Zahnhartsubstanzen in Frage gestellt (RICHTER (11)). Er empfahl anstelle dessen die Kugeldruckprobe nach Brinell, die heute in der Industrie neben dem Rockwell - und Vickershärteprüfverfahren einen führenden Platz einnimmt. Die beiden erstgenannten Methoden haben aber für unsere Zwecke zwei markante Nachteile, die ihre Anwendung gegenüber der Mikrohärtemessung nach Vickers ausschließen: 1. ist der Durchmesser des auszuwertenden Eindrucks in der Größenordnung von 0,8 - 1,0 mm um ca. das Zehnfache größer als bei der Mikrohärtemessung. D.h. wir können anstelle eines Eindrucks deren 20 - 30 auf demselben Platz unterbringen. 2. liegt die Prüflast mit ca. 1,5 kg um das 10 - 20-fache höher als bei der Mikrohärtemessung. Dieser Nachteil fällt bei unseren 0,1 - 0,2 mm dünnen Schliffen, die außerdem noch ziemlich spröde sind, sehr ins Gewicht. RICHTER (11) stellte damals fest: "Auf Grund unserer Erfahrungen können wir ganz allgemein sagen, daß sich zur Härteprüfung von Stoffen gleichmäßiger, fester Beschaffenheit zweifellos das Ritzverfahren besser eignet, während bei

einem Stoff von stark inhomogenem Bau der Kugeldruckprobe der Vorzug zu geben ist". Die Zahnhartsubstanzen sind strukturell im Vergleich mit Metallen durchaus als inhomogen anzusprechen.

Zur gleichen Frage schreibt 1953 KRELL (7): "Nach dem heutigen Stand der Wissenschaft ist man mehr und mehr von den dynamischen Methoden abgekommen und zu den statischen Methoden übergegangen. Von den zwei Bestimmungsarten ist die erstgenannte die Ritzhärteprüfmethode. Hier verschiebt sich der eindringende Prüfkörper auf der zu untersuchenden Oberfläche, während nach der zweiten Untersuchungsmethode der eindringende Prüfkörper sich nur senkrecht zu der zu messenden Substanz bewegt. Warum man heute ablehnend der dynamischen Methode gegenübersteht, liegt darin begründet, daß nur verwertbare, d.h. genauere Ergebnisse mit dieser Art zu erwarten sind bei homogenen Stoffen (Metallen) und nicht bei inhomogenen (Zähnen und Knochensubstanzen). Zurückzuführen ist dies auf die Splitterung des zu messenden Ritzes, die z.B. bei Schmelz auch durch dessen Spaltbarkeit bedingt ist." Zu ähnlichen Folgerungen kommt ein Jahr später auch B. BLUME (1). Wir möchten heute bei den Metallen nicht mehr von homogenen Stoffen sprechen, da deren kristalline Struktur durchaus hohe Grade von Inhomogenität aufweisen kann. Selbstverständlich sind sie viel einheitlicher als die Zahnhartsubstanzen. Im Jahre 1936 stellte HOOGE (4) fest, daß: "der Schmelz annähernd die Härte mittlerer Stahlsorten besitzt, während sich Dentin beinahe mit Messing vergleichen ließe"!

Angesichts der heutigen Auffassung über wissenschaftliche Meß- und Vergleichsmethoden möchten

wir dieses Ergebnis nicht näher in Betracht ziehen. Auch können in der Metallurgie heute die Härtewerte aller Metallarten je nach Verwendungszweck, Legierung und Verarbeitungsverfahren (gepreßtes, gewalztes oder gegossenes Rohmaterial) so stark variieren, daß Messingsonderlegierungen durchaus die Härtewerte weicher Stahllegierungen erreichen und sogar übertreffen können.

Trotz den schon von RICHTER (11) angeführten Nachteilen der Ritzmethode wurde dieselbe im Jahre 1939 nocheinmal von BORN (2) angewandt. DANIELSSON (3) benützte zu ihren Untersuchungen 1944 noch die Brinellmethode. PEYTON, MAHLER und HERSHENOV (9) untersuchten die physikalischen Eigenschaften des Dentins und maßen in Knoop-Härteeinheiten. Im Jahre 1953 (KRELL (7)) und 1954 (BLUME (1)) wurde zum ersten Mal ein in der metallverarbeitenden Industrie schon länger mit Erfolg angewandtes Härteprüfverfahren für unsere Zwecke eingeführt. Es handelt sich um die Mikrohärtemessung in Vickerseinheiten mit dem Kleinhärteprüfer "DURIMET" der Firma Ernst Leitz GmbH, Wetzlar. Auf diese Methode, die Grundlage unserer Untersuchungen ist und die wegen ihrer Exaktheit und relativ schnellen und sicheren Auswertbarkeit alle anderen früher angewandten Methoden zur Härtemessung an kleinen und kleinsten Objekten verdrängt hat, soll im nächsten Kapitel kurz eingegangen werden. Wir können uns auf Grund der am Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen gemachten Erfahrungen der Meinung von KRELL (7) und BLUME (1) voll und ganz anschließen, daß dies heute die Methode der Wahl ist. KOTHE (6) wandte 1960 noch eine andere Methode

zur Härtebestimmung an. Er bestimmte den Gehalt an Wasser und anorganischen Substanzen und schloß daraus auf Härteunterschiede. Diese Methode kam u.a. auch wegen der großen Zahl an durchzuführenden Einzelmessungen (insgesamt 2590, 152 pro Zahn im Durchschnitt) für uns nicht in Betracht. Außerdem wollten wir absolute Meßwerte in physikalischen Grundeinheiten erhalten (Vickershärte HV in kg/mm^2 - E. LEITZ GmbH (8)), um spätere Vergleichsmessungen zu ermöglichen.

Nach dieser Übersicht über die seither angewandte Methodik wollen wir an dieser Stelle auf die bisher veröffentlichten Resultate bezüglich der Dentinhärte eingehen. Einige von ihnen werden wir in der Diskussion unseren Ergebnissen gegenüberstellen.

RICHTER (11) stellte fest, daß die Härte des Dentins stufenweise absinke: 1. Transparente Zonen weisen größte Härte auf, 2. Dentin im Kronenteil direkt unter dem Schmelz, 3. Dentin an den Seitenrändern der Zahnwurzel, 4. Dentin um die Pulpa herum. 3. u. 4. sollen dieselbe Härte aufweisen.

Die Härtevergleiche von HOOGE (4) mit Metallen wurden schon oben erwähnt. BORN (2) gibt als eines der Ergebnisse seiner Arbeit, die sich außerdem mit dem strukturellen Aufbau der Zähne befaßt, an, daß bei allen parodontal erkrankten Zähnen im Dentin und im Schmelz, bei steigendem Alter hingegen nur im Dentin eine Härtezunahme zu verzeichnen sei. DANIELSSON (3) fand als Dentinhärte eines gesunden Zahnes Brinell Hm = 116 und machte weiterhin die Feststellung, daß

man die Bestätigung erhalten habe, daß die Härtezahlen des Weisheitszahnes unter denen der Durchschnittshärte des Frontzahnes liegt. Mit diesem speziellen Punkt befaßt sich u.a. eine z. Zt. an unserem Institut in Arbeit befindliche Dissertation. KRELL (7) prüfte die Vickershärte an drei Zähnen: "einem jugendlichen Eckzahn, einem jugendlichen Praemolar und einem durch Paradentose der Zange anheimgefallenen Molar", wobei er zu folgenden Resultaten kommt: "Menschliche Zähne im Sagittalschliff: Dentinwerte HV = 62, 8 - 76, 2. - Pulpennahes Dentin:

Entfernung von der Pulpa in µ	HV
50	34, 7
250	38, 5
500	45, 8
750	64, 6
1000	66, 3
1250	68, 5
1500	72, 3

In dieser Zone ist ein stetiges Ansteigen der Härtewerte bis in die kompakte Dentinsubstanz hinein zu verzeichnen." KRELL (7) stellt sich weiterhin die Frage: "Besteht zwischen in Formalin gelegten Zähnen und frisch extrahiertem Material in der Härte der Substanz eine Differenz?" und kommt zu der Schlußfolgerung, daß "die Härte des frisch extrahierten Zahnes identisch ist mit dem von uns in den vorangegangenen Versuchsreihen in Formalin gelegenem Zahnmaterial". PEYTON, MAHLER

und HERSHENOV (9) gehen auf die Problematik der Präparation und Härtemessung an Zähnen ein, einmal wegen der Kleinheit der Meßobjekte und zum Zweiten wegen des Fehlens von geeigneten Meßmethoden und zum Letzten wegen der Heterogenität der Zahnstruktur selber. Sie benützten zu ihren Messungen erste und zwei Molaren "weil diese gewöhnlich große Dentinmengen haben." Ihre Zähne wurden zwischen der Extraktion und der Messung in gewöhnlichem Wasser aufbewahrt. Nach der Beurteilung der Knoop-Härtewerte kamen sie zu dem Resultat, daß die "physikalischen Eigenschaften des Dentins sehr von der Stelle abhängen, aus der der Prüfkörper entnommen wurde. Dieser Faktor erlaube weiterhin die Benützung eines Durchschnittswertes der physikalischen Eigenschaften, da es sehr schwierig wäre, einen wahren Wert für jeden einzelnen Zahn zu erhalten". Sie bemerken zusammenfassend: "Die physikalischen Eigenschaften des Dentins werden von folgenden Variablen beeinflußt: a) physiologische Unterschiede in den Zähnen, b) Richtungsbedingte Effekte in der Zahnstruktur. Auf der Basis der Knoop-Härtemessungen variieren die physikalischen Eigenschaften des Dentins innerhalb desselben Zahnes, womit die Schwierigkeiten gezeigt werden sollen, wahre Werte für diese Eigenschaften zu erhalten".

BLUME (1), der sein Material in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrte, kam zu folgenden Folgerungen: "Wurzeldentin ist weicher als Kronendentin. Alle übrigen Härteschwankungen sind in Bezug auf Lage und Funktion weniger eindeutig." Eindeutig hingegen stellt er den Abfall der Dentinhärte des pulpennahen Praedentins fest. Er fand auch, daß an wegen Karies extrahierten Zähnen

makroskopisch gesundes Dentin z. T. erheblich verminderte Härtewerte aufweise, ohne daß eine Komunikation nach außen bestehe. "Man kann also - offenbar ohne exogene Genese - Inseln minderer Härte feststellen, die wahrscheinlich strukturell bedingt sind, da sie bei polarisiertem Licht wahrgenommen werden. Damit erfährt die von PAPPENHEIMER und WÜRKER verfochtene Auffassung PROELLS, daß die klinische Manifestation der Karies eine endogen bedingte Praedisposition des Aufbaus voraussetzt, auch härtemäßig eine Stütze". BLUME zieht diese Schlüsse aus Messungen an einem kariös stark zerstörten 6. Jahr-Molar. Aus weiteren zwei Präparaten folgert er, daß "die Härteschwankungen des gesunden Dentins sehr gering sind" und daß sich "ein großer Härteunterschied im kranken gegenüber dem gesunden Dentin erkennen läßt."

KIMMERLE (5), der sein Untersuchungsmaterial in 70 % Alkohol aufbewahrt, machte im Rahmen seiner Voruntersuchungen 254 Einzelmessungen im Dentin von Zähnen, die aus den verschiedensten Gründen extrahiert wurden und kommt dabei auf einen Durchschnittswert von HV = 67,59. -

SEEGER (12), der Untersuchungen an Rattenzähnen machte und dabei auf einen Durchschnittswert für Dentin von HV = 57 kam, bewahrte sein Untersuchungsmaterial in 96%igem vergälltem Alkohol auf. Er lehnte die Aufbewahrung in Formalin wegen dessen entkalkender Eigenschaften ab.

III. VERSUCHSMATERIAL UND METHODIK

A. Material

Als Untersuchungsmaterial wurden 17 menschliche Zähne verwandt, die zwischen der Extraktion und Weiterverarbeitung in 70%igem vergälltem Alkohol aufbewahrt wurden. 7 davon wurden wegen parodontalen Erkrankungen, 8 wegen Kariesfolgen und die restlichen 2 aus kombinierter Indikationsstellung extrahiert. Es wurden keine Zähne verwandt, die schon längere Zeit wurzelbehandelt waren.

1. Schleifen der Proben

Die Präparate wurden in Stents fixiert und mit demselben auf einer Spannvorrichtung des Zahnschliffgerätes (Fa. Köhler - Mainz) befestigt. Die Schliffe wurden mittels einer mit Diamantpaste besetzten Kupferbronzescheibe unter kräftiger Wasserkühlung angefertigt.

Nun wurden von jedem Präparat 3 Schliffe nach folgendem System (Abb. 1) hergestellt: 1. Schliff - horizontal parallel zur Kaufläche im Dentin direkt unter derselben.
2. Schliff - horizontal parallel zur Kaufläche, in Gegend des Zahnhalses und durch das Pulpenkavum.
3. Schliff - senkrecht zur Kaufläche durch das Dentin des Approximalraums und der Wurzel.

Durch dieses Vorgehen wurden systematisch all die Zonen der Zähne in gleicher Weise erfaßt auf die sich die Problemstellung bezieht. Bei den

Zähnen, bei denen zusätzlich noch im kariösen Bereich gemessen werden sollte, wurde jeweils einer der systematischen Schliffe so gelegt, daß der kariöse Bereich mit erfaßt wurde.

B. Härtemessungen

1. Prinzip der Methode

Die vorliegenden Untersuchungen wurden mit dem Kleinhärteprüfer DURIMET der Fa. Ernst Leitz GmbH, Wetzlar, vorgenommen. Dieses Gerät ist für unsere Messungen geeignet (BLUME (1)) (KRELL (7)). Es arbeitet nach folgendem Prinzip:
Ein Prüfdiamant in Pyramidenform senkt sich mit einer je nach der Härte des zu messenden Materials zu variierenden Kraft (um eine günstige Eindruckgröße zu bekommen) in einer bestimmten Zeit (mittels einer hydraulischen Bremse) auf den Prüfkörper herab. Dort hinterläßt der Diamant einen in der Aufsicht quadratischen Eindruck. Es wurden nur die Eindrücke ausgewertet, bei denen alle vier Ecken des Quadrates deutlich abgebildet waren. Die Masse des Diamanten sind bekannt (Spitzenwinkel 136 Grad). Somit kann von der Eindrucksdiagonalen auf die Tiefe des Eindrucks rückgeschlossen werden. D.h., da wir mit dem Meßmikroskop nicht in die Tiefe messen können, wird die zu messende Größe zu einem in horizontaler Richtung liegenden Maß in Beziehung gesetzt. Die Eindruckstiefe und damit auch die Eindrucksdiagonale sind umgekehrt proportional zur Härte des Objektes bei einer definierten Prüflast. Je härter der Prüfkörper, desto kleiner der Eindruck und umgekehrt. Die Härte des zu messen-

den Objektes wird in Vickerseinheiten angegeben und nach folgender Formel berechnet:

$$HV = \frac{1854 \times P}{d^2}$$

Bezeichnungen:
- HV = Vickershärte in kg/mm^2
- P = Prüfkraft in Gramm
- d = Länge der Eindrucksdiagonalen in μ
- 1854 = Proportionalitätskonstante

Bei Vickerseindrücken ist jeweils der Mittelwert der beiden gemessenen Diagonalen zu bilden und in die Formel einzusetzen (ERNST LEITZ GmbH (8)). Die Vickershärte kann einer Tabelle direkt entnommen werden.

Als geeignete Prüflasten erwiesen sich in unserem Fall (Eindrucksdiagonale ca. 50 μ): im gesunden Dentin = 100 g, im kariösen Bereich = 50 g.

2. Einbetten der Schliffe

Es wurden jeweils die drei zu einem Präparat gehörigen Schliffe zusammen zur Messung gebracht. Dieselben wurden in ein thermoplastisches Material (Stents) eingebettet und auf einer Plexiglasplatte mittels einer Lehre (KIMMERLE (5)) so fixiert, daß die Schliffoberfläche stets parallel zum Objekttisch des Meßmikroskops zu liegen kam. Auf diese Weise konnte der Diamant genau senkrecht eindringen und ein regelmäßiges Eindrucksquadrat erzeugen.

3. Vorversuche

Es wurde festgestellt, wieviel Eindrücke pro Präparat bei Einhaltung des geforderten Mindestabstandes (mindestens zwei Diagonalen zwischen den Mittelpunkten zweier Eindrücke) gemacht werden konnten. Hierbei stellte sich heraus, daß wir bei der notwendigen Anzahl von Eindrücken aus Sicherheitsgründen auf mindestens den dreifachen Abstand der Diagonalen gehen konnten.

4. Ausführung der Prüfung

Es wurden pro Präparat 3 systematische Schliffpräparate vermessen. Auf jedem Schliff wurden durchschnittlich 3 Meßreihen à 16 Einzelmessungen durchgeführt. Es ergab sich somit eine Gesamtzahl der Einzelmessungen pro Präparat: 144
Zusätzliche Messungen im kariösen Bereich: insgesamt: 142
Gesamtzahl der Einzelmessungen bei 17 Präparaten: 2.590.
Auf den einzelnen Schliffen wurden die Meßreihen so verteilt, daß ein möglichst umfassender Überblick möglich war. (Abb. 2) Der Abstand der Einzeleindrücke voneinander wurden zwischen 150 μ und 250 μ so variiert, daß die Meßreihe möglichst den gesamten betreffenden Abschnitt des Schliffes umfassen konnte. Sollte z. B. der Härteverlauf des Dentins vom Pulpakavum bis zur Schmelz-Dentingrenze gemessen werden, so lag der erste Meßpunkt unmittelbar in Pulpennähe, der letzte Meßpunkt unmittelbar an der Schmelz-Dentingrenze und die restlichen 14 Punkte wurden dazwischen in gleichbleibenden Abständen gesetzt.

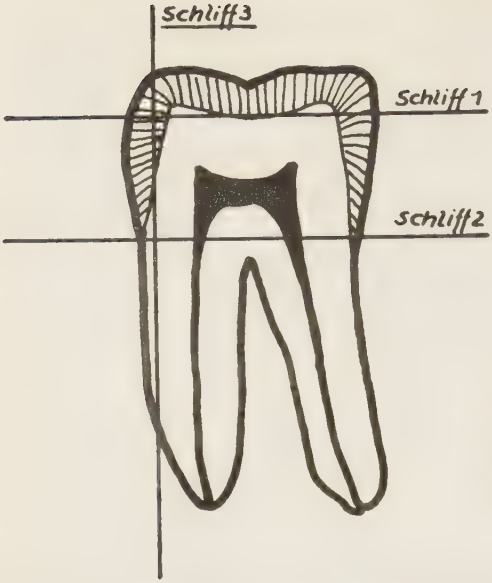


Abb. 1

Typische Lage der drei Schliffe pro Präparat.

Näheres she. Text.

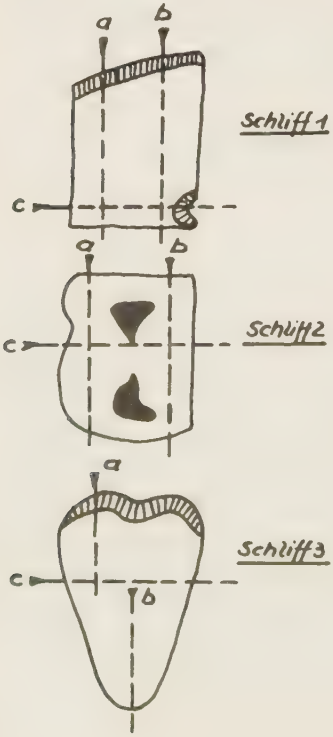


Abb. 2

Beispiel für die Führung der Meßlinien auf den drei systematischen Schliffen pro Präparat.

Näheres siehe Text.

Der Diamant setzt langsam auf das Objekt auf. Die Ablaufzeit beträgt ca. 15 sec. Als Mindestruhezeit wird von der Fa. ERNST LEITZ GmbH (8) 10 sec. vorgeschrieben. Wir haben aus Sicherheitsgründen die Mindestruhezeit auf 15 sec. angehoben. Die gesamte Ablauf- und Ruhezeit betrug somit 30 sec., was jeweils mit der Stoppuhr kontrolliert wurde.

C. Statistische Fehlerberechnung

Je nach der Fragestellung wurden als kleinste Größe der arithmetische Mittelwert einer Meßreihe (16 Einzelmessungen) - oder mehrerer zusammengefaßter Meßreihen bzw. korrespondierender Punkte - der Vickershärte (HV in kg/mm^2) und die entsprechende Standardabweichung angegeben. Diese wird nach folgender Formel berechnet (WEBER, E. (14)):

$$S_{\bar{x}} = \pm \sqrt{\frac{Ex_i^2 - \bar{x}Ex_i}{N\,(N-1)}}$$

Hierbei bedeutet:

N	=	Umfang der Stichprobe, Zahl der Einzelwerte
n	=	Freiheitsgrad (N-1)
x_i	=	Einzelwert (x_1, x_2, x_3, ... usw.)
$\bar{x}$	=	arithmetischer Mittelwert
s	=	Streuung der Stichprobe
$S_{\bar{x}}$	=	Streuung des Mittelwerts (seine Standardabweichung)

Die Differenzen zwischen Gruppenergebnissen wurden mit dem t - Test geprüft.

$$t = \frac{\bar{x}_a - \bar{x}_b}{\sqrt{\frac{(Ex_i^2 - \bar{x}\, Ex_i)_a + (Ex_i^2 - \bar{x}\, Ex_i)_b}{N_a + N_b - 2}}} \cdot \sqrt{\frac{N_a \cdot N_b}{N_a \quad N_b}}$$

Der errechnete t-Wert wurde in den Tabellen (WEBER, E. (14)) in % Wahrscheinlichkeit des betr. Unterschieds bei zweiseitiger Fragestellung umgerechnet.

IV. ERGEBNISSE

Wir wollen unsere Ergebnisse in derselben Reihenfolge angeben, wie sie in der Problemstellung aufgeführt sind:

1. Dentinhärte (Durchschnittswert)

Tab. 1

Präp. Nr.	Zahn	N	Durchschn. Werte HV
1	-6	144	79,6
2	8+	144	70,8
3	6+	144	76,0
4	3+	144	71,6
5	+8	144	65,8
6	+8	144	71,3
7	4+	144	62,0
8	+1	144	57,2
9	+5	144	60,6
10	5-	144	73,0
11	1+	144	45,1
12	1-	144	54,2
13	-4	144	51,0
14	+6	144	51,4
15	-5	144	53,8
16	6+	144	56,3
17	+3	144	65,0

Durchschnittlicher Härtewert

für Dentin bei 2.468 Messungen: $\overline{HV} = 62,64$

Seine Standardabweichung: $s_{\bar{x}} = \pm 2,398$

Graphische Darstellung: Abb. 3 - Spalte 1

2. Vergleich Dentinhärte (im Gesunden gemessen) bei Zähnen die wegen parodontaler Erkrankungen (a) und wegen Caries profunda und ihren Folgen (b) extrahiert wurden.

Tab. 2a PA-Zähne

Präp. Nr.	Zahn	N	Durchschn. Werte HV
1	-6	144	79,6
2	8+	144	70,8
3	6+	144	76,0
4	3+	144	71,6
5	+8	144	65,8
6	+8	144	71,3
8	+1	144	57,2 +)
9	+5	144	60,6
10	5-	144	73,0

+) Das Präparat Nr. 8, welches hier aus der Reihe auffällt, hatte eine Karies II, wurde aber wegen hochgradiger Lockerung entfernt und mußte deshalb hier eingereiht werden.

Durchschnittlicher Härtewert

für Dentin parodontal erkrankter Zähne bei 1.296 Messungen: $\underline{HV = 69,5}$

Seine Standardabweichung: $s_{\bar{x}} = \pm 2,466$

Graphische Darstellung: Abb. 3 - Spalte 2

Tab. 2b CP-Zähne

Präp.Nr.	Zahn	N	Durchschn. Werte HV
7	4-	144	62,0
11	1+	144	45,1
12	1-	144	54,2
13	-4	144	51,0
14	+6	144	51,4
15	-5	144	53,8
16	6+	144	56,3
17	+3	144	65,0

Durchschnittlicher Härtewert

für Dentin kariöser Zähne
bei 1.152 Messungen: HV = 54,7

Seine Standardabweichung: $s_{\bar{x}} = \pm 2{,}427$

Graphische Darstellung: Abb. 3 - Spalte 3

3. Härte des Dentins an den Kariesprädilektionsstellen
Unter der Kaufläche (a.), Zahnhals (b.) und Approximalraum (c.)

Tab. 3

Präp.Nr.	Zahn	N	a. Kaufläche Durchschn. Werte HV	N	b. Zahnhals Durchschn. Werte HV	N	c. Approximal. Durchschn. Werte HV
1	-6	48	83,9	48	71,5	48	83,3
2	8+	48	67,8	48	74,9	48	69,7
3	6+	48	76,2	48	77,5	48	74,5
4	3+	48	80,5	48	62,7	48	71,5
5	+8	48	65,7	48	67,9	48	63,7
6	+8	48	71,0	48	72,6	48	70,1
7	4-	48	67,5	48	58,8	-	--
8	+1	--	--	--	--	64	61,7
9	+5	--	--	--	--	64	67,0
10	5-	--	--	--	--	64	72,7
11	1+	--	--	16	44,1	--	--
13	-4	16	54,8	16	51,4	--	--
17	+3	16	72,1	--	--	--	--

Durchschnittliche Härtewerte

für Dentin	Kaufläche	Zahnhals	Approximalraum
	HV = 70,9	HV = 64,6	HV = 70,4
Standardabweich.	$s_{\bar{x}} = \pm 3,266$	$s_{\bar{x}} = \pm 5,306$	$s_{\bar{x}} = \pm 2,251$
Graphische Darstellung:	Abb.3 - Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6

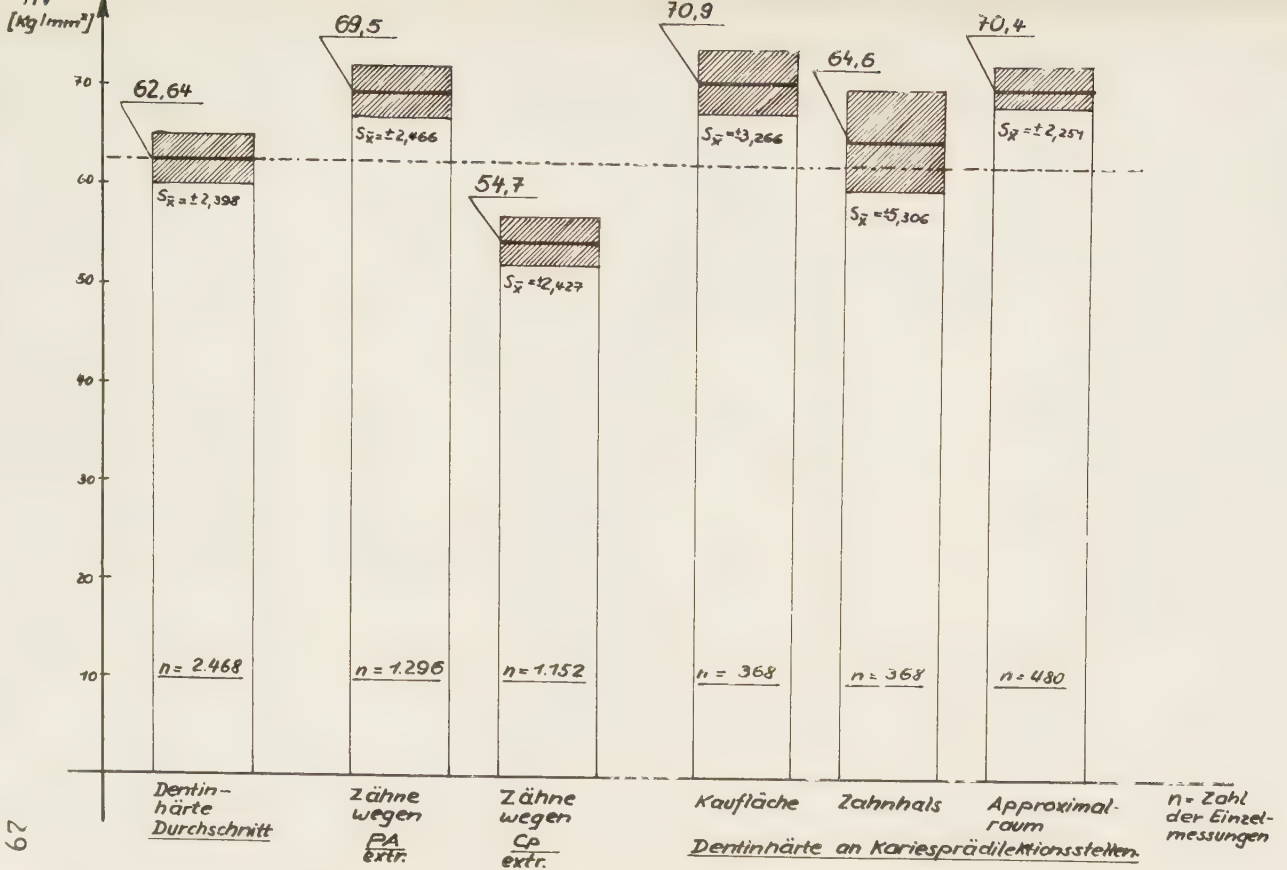

[Kg/mm²]
70
60
50
40
30
20
10
62,64
69,5
54,7
70,9
64,6
70,4
$S_{\bar{x}} = \pm 2,398$
$S_{\bar{x}} = \pm 2,466$
$S_{\bar{x}} = \pm 2,427$
$S_{\bar{x}} = \pm 3,266$
$S_{\bar{x}} = \pm 5,306$
$S_{\bar{x}} = \pm 2,254$
n = 2.468
n = 1.296
n = 1.152
n = 368
n = 368
n = 480
Dentin-härte Durchschnitt
Zähne wegen PA extr.
Zähne wegen Cp extr.
Kaufläche
Zahnhals
Approximal-raum
n = Zahl der Einzel-messungen
Dentinhärte an Kariesprädilektionsstellen.

Abb. 3

4. Härteverlauf in der Grenzzone zwischen gesundem und kariösem Dentin

Tab. 4

Präp.Nr.	Zahn	Abstand vom Defektrand in 1/100 mm								
		120	105	90	75	60	45	30	15	
7	4-	-	-	-	68,6	63,1	35,3	31,7	23,7	HV
12	1-	-	-	-	25,8	26,9	30,1	26,1	51,3	
12	1-	-	-	21,3	22,5	27,1	28,0	26,2	25,8	
12	1-	-	-	-	21,3	30,4	38,6	19,8	20,7	
13	-4	-	-	55,2	44,8	39,4	72,8	95,3	49,0	
13	-4	-	-	26,2	40,8	38,1	75,7	56,5	47,5	
13	-4	-	-	53,8	26,6	43,8	35,6	73,6	30,7	
14	+6	-	-	52,1	24,9	27,1	25,3	26,2	21,9	
14	+6	-	62,6	35,0	31,2	19,5	44,8	24,5	21,2	
14	+6	-	-	62,6	29,8	20,4	20,7	23,0	20,8	
15	-5	51,1	52,6	61,9	48,6	44,4	54,1	42,9	29,6	
15	-5	46,4	47,0	39,7	40,1	39,4	41,8	35,4	26,5	
15	-5	49,0	49,5	53,8	39,7	35,4	42,9	51,3	24,1	
16	6+	-	-	56,5	53,3	46,4	40,9	36,4	37,1	
16	6+	-	51,3	58,8	49,0	54,6	43,4	46,8	43,8	
16	6+	55,2	42,9	46,8	58,5	45,8	50,1	49,7	40,2	
17	+3	-	93,4	59,4	77,9	67,7	90,5	82,6	37,1	
17	+3	73,6	77,9	83,1	73,6	79,3	67,4	82,6	26,6	
17	+3	-	79,3	73,6	71,5	77,4	75,7	65,9	41,1	
Durchschn.-Werte HV $\bar{x}$		55,3	61,8	52,5	44,6	43,6	48,1	47,2	32,5	
Ihre Standardabweichung $s_{\bar{x}} = \pm$		4,2	5,9	4,3	4,2	4,1	4,5	5,3	2,4	

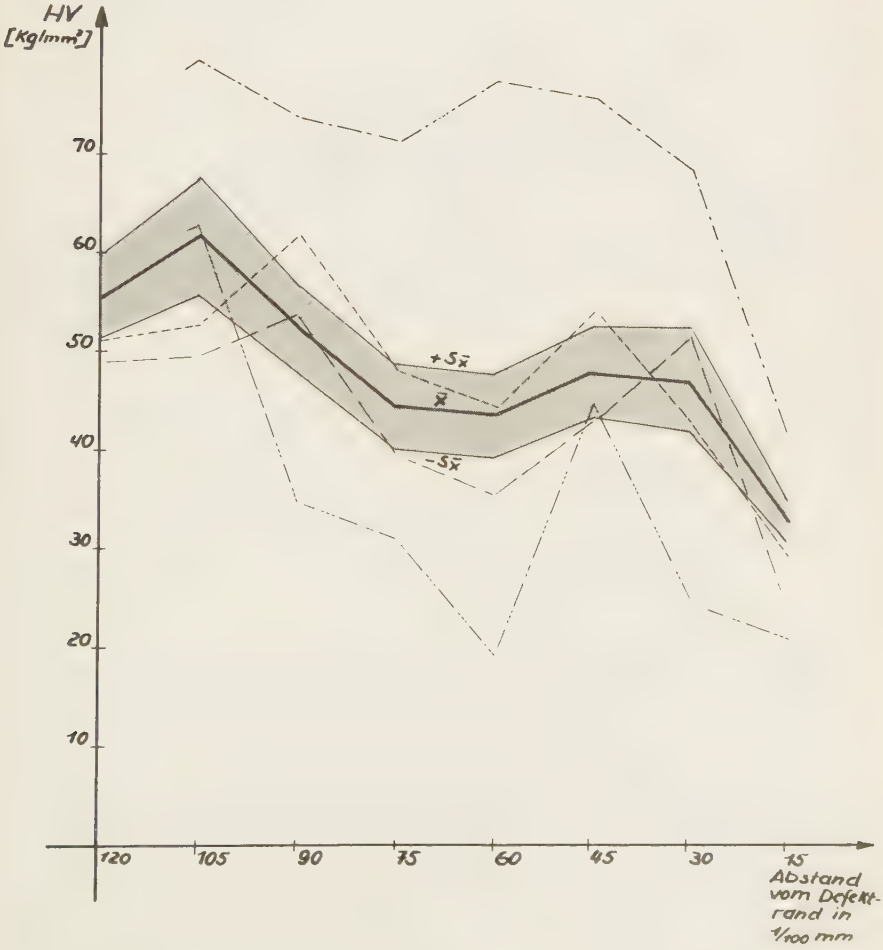
Zahl der Einzelmessungen: 125
Graphische Darstellung: Abb. 4

Abb. 4

HÄRTE (HV in kg/mm^2) DES DENTINS IM KARIÖSEN BEREICH
gemessen an verschiedenen Präparaten in gleichmäßig abnehmenden Abständen zum Defektrand.
Verlauf der Meßlinien: Senkrecht zum Defektrand
Abstand unter den Meßpunkten einer Reihe: 15/100 mm
Meßbereich: ca. 1 mm vom Defektrand bis zum ersten nicht mehr ausmeßbaren Eindruck des Prüfdiamanten.
Anm.: Es wurden nur Meßreihen mit mindestens 5 ausmeßbaren Eindrücken (lückenlos hintereinander folgend) verwertet.

Zur Auswertung kommen: 7 Präparate, 19 Meßreihen mit insgesamt 125 Einzelmessungen.

Graphische Darstellung des arithmetischen Mittelwertes und seiner Standardabweichung.



5. Härteschwankungen des Dentins vom Pulpakavum zur Schmelz-Dentingrenze

Tab. 5

Präp. Nr.	Zahn	Abstand vom Pulpenkavum in 1/100 mm: P	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	S
3	6+	53,3	57,1	62,4	66,0	67,3	74,2	89,6	78,8	68,0	71,3	82,2	75,7	82,2	58,1	65,5	53
4	3+	52,0	59,8	64,3	71,3	67,3	69,0	72,7	80,5	67,3	71,3	70,7	71,3	-	-	-	
5	+8	50,7	56,1	50,7	60,8	67,8	68,6	69,4	68,3	68,3	70,5	69,6	67,0	72,1	69,6	68,6	69
6	+8	49,5	57,1	67,8	68,6	70,7	68,6	74,2	72,7	77,2	67,0	77,2	71,3	72,1	73,6	-	
7	4-	37,6	37,8	54,0	74,2	61,1	59,1	53,8	62,0	62,9	62,9	56,1	-	-	-	-	
8	+1	42,6	40,3	41,7	44,6	49,8	53,8	62,0	60,2	-	-	-	-	-	-	-	
9	+5	43,9	61,5	60,8	59,1	39,9	58,1	68,6	66,8	64,3	57,7	-	-	-	-	-	
2	8+	72,7	83,9	80,5	71,3	75,7	75,7	74,2	74,2	46,7	75,7	69,9	71,3	72,7	50,7	48,2	55
2	8+	55,1	53,3	74,2	67,3	62,4	71,3	68,6	68,6	64,8	71,3	69,9	62,4	57,1	59,1	53,3	57
5	+8	60,2	52,9	54,7	65,5	66,0	68,6	64,3	68,6	71,3	70,7	55,1	69,9	67,3	91,6	60,8	68
5	+8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71,3	66,8	66,0	64,1	60,2	55,1	53
5	+8	-	-	-	-	-	-	-	-	72,7	83,2	74,2	72,7	64,8	62,4	68,8	73
6	+8	74,2	80,5	76,6	74,2	76,6	82,2	78,8	78,8	79,8	74,2	75,7	74,2	75,7	68,6	70,7	68
8	+1	29,7	46,1	46,4	43,2	47,9	50,3	56,1	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	+5	41,1	49,0	46,7	53,8	68,6	68,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Durchschn. Härtewerte HV		48,5	56,5	60,0	63,1	63,1	65,9	69,3	70,8	67,5	70,6	69,7	70,2	69,7	65,9	61,3	65
Ihre Standardabw. $\pm S_{\bar{x}}$		5,7	3,8	3,5	2,8	3,1	5,5	2,8	2,1	2,7	1,9	2,6	1,2	2,6	5,0	3,1	

Zahl der Einzelmessungen: 179

Graphische Darstellung: Abb. 5

Abb. 5

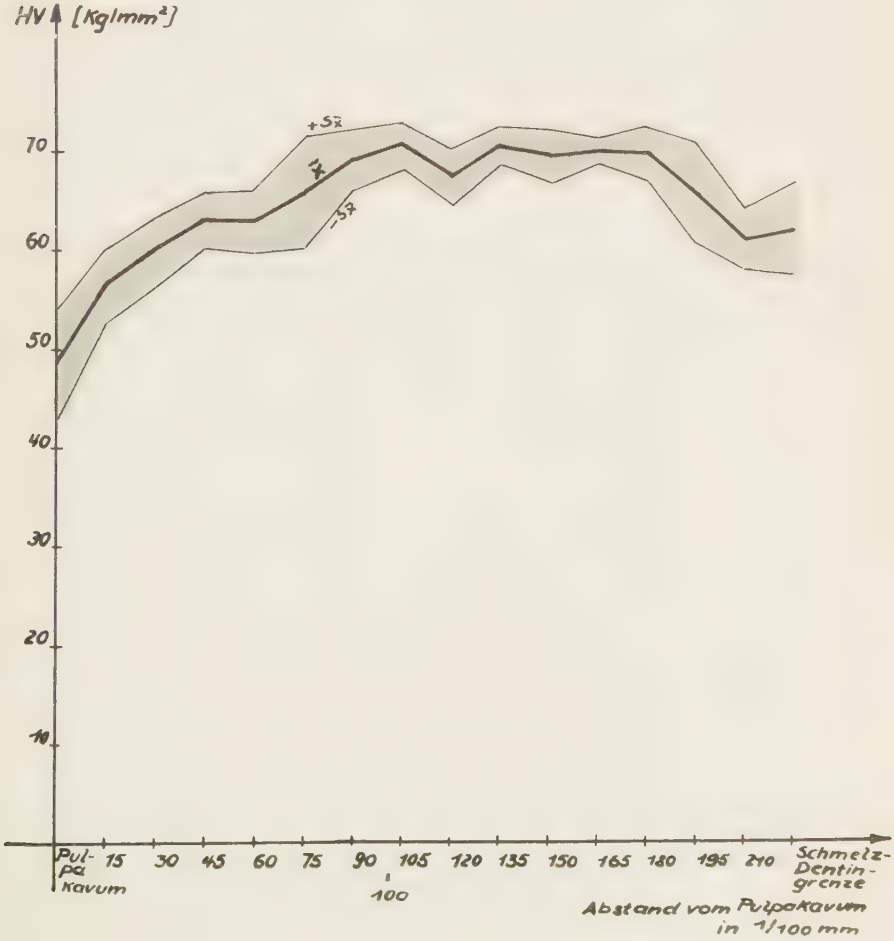
Härte (HV in kg/mm^2) des Dentins gemessen ca. in Richtung des Verlaufs der Dentinkanälchen zur Darstellung der Härteschwankungen vom Pulpakavum zur Schmelz-Dentingrenze.

Abstand unter den Meßpunkten einer Reihe: 15/100 mm Meßbereich: Jeweils bis zu 16 Messungen (Pulpakavum-Schmelz-Dentingrenze) oder weniger (vom Pulpakavum oder Schmelz-Dentingrenze aus, soweit die besonderen Umstände des Präparates es erlaubten.

Anm.: Es wurden nur Meßreihen mit mindestens 5 ausmeßbaren Eindrücken (lückenlos hintereinander folgend) verwertet.

Zur Auswertung kommen: 8 Präparate, 15 Meßreihen mit insgesamt 179 Einzelmessungen.

Graphische Darstellung des arithmetischen Mittelwertes und seiner Standardabweichung.



6. Vergleich Dentinhärte an der Schmelz-Dentingrenze zu Durchschnitt des Präparats Nr. 10

Anm.: Wir haben diesen Vergleich noch einmal zusätzlich angestellt, obwohl der Abfall der Härte an der Schmelz-Dentingrenze schon auf Abb. 5 deutlich zu erkennen ist. Die fünf vorliegenden Messungen wurden folgendermaßen gewonnen: Wir maßen im Schmelz in Richtung auf das Dentin zu in Abständen von 15/100 mm. Der erste so entstandene Eindruck im Dentin wurde verwertet.

Tab. 6

Härtewerte an der Schmelz-Dentingrenze	arithmetische Mittelwerte aller Meßreihen dieses Präparates
59,8	68,9
57,7	71,8
51,2	72,5
57,1	77,7
47,5	70,6
--	72,0
--	66,6
--	78,5
--	78,1
Durchschnittl. Härtewerte HV 54,6	72,9
Ihre Standard-abweichung $S_{\bar{x}} = \pm$ 2,460	1,620

Aus den Tabellen und graphischen Darstellungen ist Folgendes zu entnehmen:

1. Für die Härte des Dentins menschlicher Zähne ergab sich ein Durchschnittswert von HV = 62,64 kg/mm^2.

2a. Zähne, die infolge parodontaler Erkrankungen extrahiert werden mußten, wiesen einen deutlich höheren Härtedurchschnittswert von HV = 69,5 kg/mm^2 auf.

2b. Zähne, die infolge Caries profunda zu Verlust gingen, hatten, im gesunden Dentin gemessen, deutlich niederere Durchschnittshärtewerte von HV = 54,7 kg/mm^2.

3. Die Frage, ob die bevorzugte Entstehung der Karies an den sogenannten "Prädilektionsstellen" außer der Retentionsmöglichkeit für Speisereste und Zelldetritus, auch härtemäßig eine Stütze findet, muß verneint werden. Die Härtewerte betragen: a) Kaufläche HV = 70,9 kg/mm^2, b.) Zahnhals HV = 64,6 kg/mm^2 und c.) Approximalraum HV = 70,4 kg/mm^2 jeweils im gesunden Dentin gemessen, sie liegen also alle drei über dem Gesamtdurchschnitt.

4. Die Frage nach dem Härteverlauf in der Grenzzone zwischen gesundem und kariösem Dentin kann dahingehend beantwortet werden, daß zunächst vom Härtedurchschnittswert des Dentins kariöser Zähne (im Gesunden gemessen) ein Anstieg in ca. 1 mm Abstand vom Defektrand zu verzeichnen ist. Dann fällt die Härte ziemlich linear ab (Mittelwertkurve). Etwa 3 - 4/10 mm

vom total erweichten Defekt weg gibt es wieder einen Anstieg des Härtewertes, der bei weiterer Annäherung an den Defekt dann schnell abfällt. Die Mittelwertkurve zeigt deutlich zwei Spitzen. Die Einzelkurven der verschiedenen Meßreihen zeigen in den meisten Fällen ebenfalls eine oder zwei Spitzen. Wir haben in der graphischen Darstellung deren vier typische zusätzlich aufgetragen. Wir möchten somit die Frage bejahen, daß am Rande des kariösen Defekts sich Zonen größerer Härte als Ausdruck einer vitalen Reaktion feststellen lassen.

5. Bei der Untersuchung des Härteverlaufs im gesunden Dentin vom pulpennahen Prädentin bis zur Schmelz-Dentingrenze konnten wir Folgendes feststellen: Das Dentin in unmittelbarer Nähe der Pulpa ist wesentlich weicher als der Durchschnitt: HV = ca. 50 kg/mm^2. Die Mittelwertskurve steigt dann allmählich an und erreicht ihre Höchstwerte von ca. HV = 70 kg/mm^2 in etwa 1,05 - 1,80 mm Abstand von der Pulpa. Von hier bis zur Schmelz-Dentingrenze ist noch einmal ein relativ rascher Abfall der Härtewerte festzustellen.

6. Hier wurde nocheinmal an Hand eines Präparates die Frage nach der Härte des Dentins unmittelbar an der Schmelz-Dentingrenze untersucht. In Übereinstimmung mit obigen Ergebnissen ließ sich deutlich nachweisen, daß die Dentinhärte an der S-D-Grenze unter dem Durchschnitt liegt.

Der t-Test zeigte für die obigen Ergebnisse folgende Unterschiedswahrscheinlichkeit:

Für die ersten drei Fragen wurde als Vergleichswert der auf Grund von 2468 Einzelmessungen er-

mittelte Gesamthärtedurchschnittswert für Dentin menschlicher Zähne von HV = 62,64 zugrunde gelegt.

2a. Dentinhärte Durchschnitt zu Dentinhärte PA-Zähne	nicht signifikant unterschiedlich	t = 1,832
2b. Dentinhärte Durchschnitt zu Dentinhärte Cp-Zähne	mit 95% Wahrscheinlichkeit signifikant unterschiedlich	2,031

Der Vergleich 2a und 2b zeigte jedoch:

Dentinhärte PA-Zähne zu Dentinhärte Cp-Zähne	mit 99,9% Wahrscheinlichkeit signifikant unterschiedlich	4,240
3a. Dentinhärte Kaufläche zu Dentinhärte Durchschn.	mit 95% Wahrscheinlichkeit signifikant unterscheidlich	2,091
3b. Dentinhärte Zahnhals zu Dentinhärte Durchschn.	nicht signifikant unterschiedlich	0,396
3c. Dentinhärte Approximal. zu Dentinhärte Durchschn.	mit 95% Wahrscheinlichkeit signifikant unterschiedlich	2,110

Bei den folgenden Fragen wurde der t-Test zwischen den charakteristischen Punkten der Mittelwertkurven angestellt.

4. Dentinhärte im kariösen Bereich.		t =
Punkte 120 - 105	nicht	0,755
Punkte 105 - 60	mit 98% Wahrscheinlichkeit	2,539
Punkte 60 - 45	nicht	0,743
Punkte 45 - 15	mit 99% Wahrscheinlichkeit	3,061
	signifikant unterschiedlich	

5. Härteschwankungen vom Pulpenkavum zur Schmelz-Dentingrenze.		
Punkte P - 105	mit 99% Wahrscheinlichkeit	3,432
Punkte 105 - 210	mit 98% Wahrscheinlichkeit	2,580
Punkte 105 - 120	nicht	1,377
Punkte 105 - S-D-Grenze	nicht	1,830
	signifikant unterschiedlich	

6. Vergleich Schmelz-Dentingrenze-Härtedurchschnitt		6,455
Dentinhärte Schmelz-Dentingrenze	mit 99,9% Wahrscheinlichkeit	
zu	signifikant unterschiedlich.	
Dentinhärte Durchschnitt Pr. 10		

V. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Im ersten Teil dieses Kapitels wollen wir uns mit den vergleichbaren Ergebnissen früherer Veröffentlichungen befassen. Im zweiten Teil wollen wir unsere Ergebnisse einer kritischen Betrachtung unterziehen.

RICHTER (11): 1."Transparente Zonen weisen größte Härte auf." Wenn wir unterstellen, daß RICHTER damit die transparente Zone im kariösen Bereich meint, so können wir dazu sagen, daß wohl einzelne extrem hohe Werte (HV = 80 - 90 kg/mm^2) im Bereich unserer ersten Spitze (Abb. 4) gefunden werden, daß aber der Mittelwert nicht über dem Härtedurchschnitt liegt. Als den zweithärtesten Dentinanteil bezeichnet er das Dentin im Kronenteil direkt unter dem Schmelz. Unser Wert für diesen Bereich (Abb. 3 - Spalte 4) von HV = 70,9 kg/mm^2 ist der höchste erreichte Mittelwert und unterscheidet sich signifikant vom Durchschnitt. Wir würden also diese Dentinanteile härtemäßig an die erste Stelle setzen. Als die weichsten aber gleichharten Dentinanteile bezeichnet er das Dentin an den Seitenrändern der Zahnwurzel und um die Pulpa herum. Wir finden im Wurzeldentin Durchschnittswerte, die sich wie im Kronenteil von der Pulpa weg charakteristisch steigern, aber nicht die Maximalwerte des Dentins im Kronenanteil erreichen. Wir stimmen mit RICHTER völlig überein, daß das pulpennahe Praedentin die niedrigsten Härtewerte (Durchschnitt HV = 48,5) aufweist.

BORN (2) gab an, daß bei "Paradentosefällen eine Härtezunahme" zu verzeichnen sei. Wir können

diesen Befund bestätigen (Abb. 3 - Spalte 2), ohne damit etwas darüber aussagen zu können, ob die Härtesteigerung durch Vorgänge im Verlauf der Zahnbetterkrankung zustandekam, oder ob diese Zähne primär härter sind.

DANIELSSON (3) fand, daß "die Härtezahlen des Weisheitszahnes unter der Durchschnittshärte des Frontzahnes liegt". Ohne späteren Ergebnissen vorgreifen zu wollen, können wir dies nicht bestätigen. Im Rahmen unserer Untersuchungen wurden 3 Weisheitszähne gemessen, die alle in ihren Härtewerten über dem Gesamtdurchschnitt lagen.

KRELL (7) kommt auf Grund von Messungen an drei Zähnen zu dem Ergebnis, daß "menschliche Zähne im Sagittalschliff Dentinwerte von HV = 62,8 - 76,2" aufweisen. Da wir annehmen, daß es sich hier um Maximum-Minimum-Werte handelt, lassen sich schlecht Vergleiche anstellen. Er hat aber eine Meßreihe angestellt, die sich mit den Härteänderungen in Funktion des Abstands von der Pulpa befaßt, die wir hier unseren entsprechenden Durchschnittswerten gegenüberstellen wollen:

Messungen KRELL (7)		Unsere Messungen (Durchschn.)		
Entfernung von der Pulpa in 1/100 mm	HV	Entfernung von der Pulpa in 1/100 mm		HV
5	34,7	entspr.	P	48,5
			15	56,5
25	38,5			
			30	60,0
			45	63,1
50	45,8			
			60	63,1
75	64,6		75	65,9
			90	69,3
100	66,3			
			105	70,8
			120	67,5
125	68,5			
			135	70,6
150	72,3		150	69,7

Wenn die ersten Werte KRELL's nicht genau mit unseren übereinstimmen, so mag dies an den Besonderheiten seines Präparates liegen. Unsere Werte sind Durchschnitte, einzelne Meßreihen ähneln der von KRELL durchaus Wichtig erscheint uns in Übereinstimmung mit KRELL die Tatsache, daß vom pulpanahen Praedentin die Härtewerte auf die Entfernung von ca. 1 mm ziemlich stetig ansteigen.

KIMMERLE (5), der mit ca. 10 % der Zahl an Einzelmessungen im Rahmen seiner Voruntersuchungen auch einen Durchschnittswert für Dentin angibt, fand für denselben HV = 67,59. Hierbei dürfte aber ein Druck- oder Rechenfehler vorliegen, da sich bei der Nachprüfung seiner Einzelwerte ergab, daß sein effektiver Durchschnittswert bei 62,37 liegt und somit mit unserem Wert von 62,64 praktisch deckungsgleich ist.

Nun zu unseren Ergebnissen:
Es ließ sich statistisch nicht direkt nachweisen, daß die wegen parodontaler Erkrankungen (es wurde kein Unterschied zwischen progressiver marginaler Parodontitis und reiner Alveolaratrophie gemacht) extrahierten Zähne härter sind als der Dentindurchschnittswert. Der Grund hierfür ist der, daß die PA-Zähne auch im Gesamtdurchschnitt enthalten sind. Insofern ist die alleinige Gegenüberstellung zu den Karies-Zähnen entscheidend. Die wegen Karies extrahierten Zähne waren signifikant unterschiedlich weicher. Der Vergleich zwischen den beiden Krankheitsgruppen ergab mit 99,9 % Wahrscheinlichkeit einen signifikanten Unterschied, so daß wir hieraus eine Bestätigung der Meinung ableiten möchten, wonach für kariesanfällige Gebisse außer äußeren Einflüssen eine strukturbedingte Preaedisposition als wesentlicher Faktor vorausgesetzt werden darf (WALKHOFF-HESS (13)). Durch unsere Untersuchungen in Bezug auf die Zähne aus parodontal erkrankten Gebissen, die ergaben, daß deren Härte über dem Durchschnitt liegt, findet auch die in der Praxis oft gemachte Feststellung eine Stütze, daß parodontosegefährdete Gebisse meist weitgehend kariesresistent sind.

Es stellte sich weiterhin heraus, daß die Härte des Dentins an den Kariespraedilektionsstellen über dem Durchschnitt liegt. Hierfür läßt sich ein ähnlicher Zusammenhang wie oben herleiten, da im Gesamtdurchschnitt die weicheren pulpanahen Praedentinanteile mit enthalten sind. Das okklusale Dentin ist auch deswegen härter, weil es bei der Zahnentwicklung zuerst gebildet wurde und den längsten Mineralisationsprozeß durchmacht. Hinzu kommt, daß durch die Konvergenz der Dentinkanälchen in Richtung auf das Pulpakavum zu die reine Dentinmenge peripher anteilmäßig größer ist.

Bei den Messungen am Übergang von gesunden zu kariösem Dentin konnten die beiden "Spitzen" in der Mittelwertkurve statistisch nicht mit der notwendigen Wahrscheinlichkeit abgesichert werden. Da aber die meisten Einzelkurven diese beiden Anstiege aufweisen, möchten wir die mangelhafte statistische Sicherung darauf zurückführen, daß diese beiden Anstiege bei einem krankhaften Prozeß nicht immer an der selben Stelle liegen müssen. Als praktisch einzige Beurteilungsmöglichkeit besaßen wir auch lediglich die Härte in Funktion zum Abstand vom Defektrand. Die Mittelwertkurve über den Härteverlauf vom Pulpakavum zur Schmelz-Dentingrenze war ziemlich eindeutig. Lediglich der Punkt 120 zeigte einen an sich nicht zu erwartenden Abfall des Mittelwertes. Man könnte hierbei auch an Interglobulardentin denken, zumindest daß hierdurch ein Zufallsbefund herbeigeführt wurde. Der t-Test ergab jedoch, daß der vorangehende Meßpunkt 105 sich von 120 nicht signifikant unterscheidet. Wir möchten hieraus entnehmen, daß die Härtewerte des Dentins

vom Pulpakavum stetig ansteigen, dann sich je nach der Dicke der Dentinschicht auf einem für den einzelnen Zahn unterschiedlichen maximalen Niveau halten, um dann in unmittelbarer Nähe der Schmelz-Dentingrenze wieder abzufallen.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Härte des Dentins in gesunden sowie kariös veränderten Bereichen menschlicher Zähne.

Die Untersuchungen wurden mittels Mikrohärtemessungen angestellt. Die Werte wurden in Vickershärte HV in kg/mm^2 angegeben.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

1.) Der Durchschnittshärtewert für Dentin menschlicher Zähne liegt (bei 17 Zähnen, 47 Schliffpräparaten und 2590 Einzelmessungen) bei HV = 62,64 kg/mm^2.

2.) Zähne, die wegen parodontaler Erkrankungen entfernt wurden, sind durchschnittlich und mit signifikanten Unterschieden härter (Dentin) als solche Zähne, die wegen Karies verloren gingen.

3.) Die Dentinhärte an den Kariespraedilektionsstellen liegt über dem Durchschnitt. Am härtesten hat sich das unmittelbar unter der Kaufläche gelegene Dentin erwiesen. Dann folgt der Approximalraum, während die Härte im Zahnhalsbereich nur geringfügig über dem Durchschnitt liegt.

4.) Bei Messungen am Übergange von gesundem zu kariösem Dentin konnte festgestellt werden, daß der Härteabfall zum krankhaften Prozeß hin nicht linear ist. Es sind vielmehr im Grenzbezirk Härtespitzen feststellbar, die auch von diesem Aspekt aus darauf hindeuten, daß hier Zonen verstärkter Mineralisation auftreten.

5.) Die Untersuchung des Härteverlaufs des gesunden Dentins vom Pulpakavum zur Schmelz-Dentingrenze zeigte, daß die Härte von der Pulpa weg stetig ansteigt, sich dann auf einem maximalen Niveau hält, um in der unmittelbaren Nähe der Schmelz-Dentingrenze wieder etwas abzufallen.

6.) Die spezielle Nachprüfung an einem Präparat ergab, daß sich die Härte der Schmelz-Dentingrenze gegenüber der Durchschnittshärte des Dentins signifikant unterscheidet.

Zum Schluß der Arbeit erlaube ich mir,
Herrn Professor Dr. A. Kröncke
für die Überlassung des interessanten
Themas und für seine Anleitung zu dieser
Arbeit herzlich zu danken.

VII. SCHRIFTTUM

1. BLUME, BODO B. — Mikrohärtemessungen in Vickerseinheiten mit dem Kleinhärteprüfer "DURIMET". Inaug. Diss., Bonn, 1954

2. BORN, J. — Untersuchungen menschlicher und tierischer Zähne mit Hilfe des Ritzverfahrens zur Feststellung ihrer Härte und ihres strukturellen Aufbaus. Inaug. Diss., Bonn, 1939

3. DANIELSSON, I. — Härtemessungen an Zähnen und Zahnersatzmaterial in Brinelleinheiten. Inaug. Diss., München, 1944

4. HOOGE, H. — Hardness Tests on teeth. J. Dent. Res., 15, 271, 1936

5. KIMMERLE, G. — Über die Härte des Zahnschmelzes nach Kavitätenpräparation mit besonderer Berücksichtigung des Airotors. Inaug. Diss., Tübingen, 1962

6. KOTHE, J. — Untersuchungen über Veränderungen der Zusammensetzung des kariösen Dentins gegenüber dem normalen Dentin und über den Härtungsmechanismus des im Rahmen der Caries profunda - Therapie in der Kavität belassenen erweichten kariösen Dentins. Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 34, 1960 J.A. Barth-Verlag, Leipzig

7. KRELL, F. — Härteprüfungen am Schmelz und am Dentin von Goldhamsterzähnen und menschlichen Zähnen. Inaug. Diss., Berlin, 1953

8. E. LEITZ GmbH — Der Kleinhärteprüfer DURIMET Anleitung, 1959

9. PEYTON, F.A., MAHLER, D.B. und HERSHENOV, B. — Physical properties of Dentin J. dent. Res., 31, 366, 1952

10. PICKERILL — Über die Verhütung von Zahnkaries und Mundsepsis. Messner-Verlag, Berlin, 1913

11. RICHTER, H. — Über Ritz- und Kugeldruckhärte an harten Zahnhartsubstanzen ein kritischer Vergleich. Zschr. f. Stomatologie, 29, 591, 1931

12. SEEGER, U. — Zur Frage des Mineralverlustes von Zahnhartsubstanzen bei Kalkmangelzuständen (Tierexperimentelle Mikrohärtemessungen) Inaug. Diss., Tübingen, 1962

13. WALKHOFF-HESS — Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde. 6. Aufl., Zürich, 1960 J.A. Barth-Verlag - Leipzig

14. WEBER, E. — Grundriß der biologischen Statistik. 2. Aufl., Jena, 1956 Gustav Fischer-Verlag, Jena

LEBENSLAUF

Ich, Günther Wilhelm Stoll, wurde am 27.1.1934 als Sohn des Dipl. Ing. Wilhelm Stoll und seiner Frau Hedwig geb. Vöster in Dessau/Anhalt geboren.

Ich besuchte dort die Grundschule. Infolge der Kriegswirren war ich an verschiedenen Gymnasien. Meine Eltern wanderten 1948 nach Argentinien aus. Dort machte ich an der deutschen Burmeister-Oberschule in Buenos Aires 1952 das Abitur.

Im Wintersemester 1959/60 wurde ich zum Studium der Zahnheilkunde an der Eberhard-Karls Universität Tübingen immatrikuliert.
Am 24. Oktober 1961 bestand ich die Zahnärztliche Vorprüfung. Mein gesamtes klinisches Studium absolviere ich in Tübingen.
Zahnärztliches Staatsexamen im Frühjahr 1964.